

CIENCIA Y TECNOLOGÍA, DOS CARAS DE UNA MISMA MONEDA: MÁQUINAS COMO ALGORITMOS Y EL TALADRO DE COQUÍ.

Una vara que se encuentra a la vera del camino es diferente de la misma vara cuando es utilizada para apoderarnos de una naranja que se encuentra muy alto en nuestro naranjo. Cuando utilizamos la vara se está sumando a nuestro brazo la longitud l de la vara. La vara es ahora un instrumento mediante el cual la longitud de nuestro brazo ha aumentado, ya no es lo que siempre ha sido, L , sino $L+l$.

La vara es ahora algo más que una vara, es una máquina que hace que los brazos que la usan la utilicen porque tiene incorporado un algoritmo, una operación (o un operador): $+l$.

El hombre desde siempre, ha utilizado y fabricado máquinas (hay pruebas que nos muestran que incluso los chimpancés utilizan herramientas). Y las máquinas han funcionado, nos han ayudado a solucionar muchas dificultades y, a la vez, nos han propuesto otros problemas que antes no existían, tal es el caso de las primeras herramientas que vistas desde nuestros días, incorporan en su funcionamiento diferentes algoritmos u operadores: palancas, poleas, balanzas, ruedas, planos inclinados, etc.

Cuando en la Baja Edad Media Herón en Alejandría diseñó nuevas máquinas, lo hizo a partir de las máquinas que ya se estaban utilizando, develando

los algoritmos que estaban alojados en ellas (o tal vez, inventando otros algoritmos para lograr una eficiencia mayor) y proyectándolos en las nuevas para mejorarlas. Tal vez lo mismo fue adelantado por Arquímedes, tal vez lo mismo estaba en el programa de Leonardo, quien no solo observó cuidadosamente las máquinas que existían, creadas por nuestra civilización, sino que se aventuró a interpretar el funcionamiento de los organismos mediante operadores y algoritmos que se encuentran en ellos: el vuelo de los pájaros, el nado de los peces.

Es ilustrativo considerar los tornos y taladros que datan del neolítico y que se encuentran descritos, por ejemplo, en el *Ascenso del Hombre* de J. Bronowsky.

A éstas primeras máquinas difícilmente podemos pensarlas como producto de la aplicación de una ciencia ya elaborada. Se trata más bien de una tecnología que puede constituirse en el punto de partida de la reflexión científica.

Al considerar las máquinas y herramientas que han diseñado las diferentes civilizaciones sin contar con un discurso teórico para dar cuenta de tales propuestas, no podemos menos que volver los ojos a J. Piaget y sus planteamientos con respecto a la toma de conciencia (Ver *La Toma de Conciencia*). Para Piaget con frecuencia los niños logran resolver los problemas y dificultades que se les presentan, incluso con cierta sistematización que muestra que lo que hacen no es fruto del azar, pero no son capaces de dar cuenta y aún menos, de justificar por qué hacen lo que hacen. En lo senso-



rio motor la cuestión es evidente y cotidiana, todos sabemos caminar y saltar e incluso gatear pero somos absolutamente incapaces de describir verbalmente cómo es que lo hacemos. Nos encontramos así en la historia de las culturas con soluciones en términos de artefactos que muestran una magnífica comprensión no solo del problema que quieren solucionar, sino de los artefactos que se diseñan para ello.

A continuación veremos algunos ejemplos de artefactos que ilustran la caracterización de las máquinas como objetos que han incorporado al menos un algoritmo. También, queremos ilustrar soluciones tecnológicas que no poseen –al menos explícitamente para nosotros – sustento teórico. Para estas últimas nos referiremos al taladro de Coquí, las primeras serán el aparato para medir distancias, la cinta medidora de diámetros y la balanza de brazos iguales como máquina de multiplicar.

1. EL TALADRO DE ARCO, NUESTRO DESCUBRIMIENTO EN COQUÍ

Las máquinas utilizadas por los aborígenes y que aún se encuentran en las comunidades que prevalecen, nos muestran ejemplos en los que la tecnología precedió a la ciencia. Estas son tres versiones de lo que se denomina técnicamente el taladro de arco. Una de ellas nos la encontramos en una salida de vida independiente de la *Escuela Pedagógica Experimental* cuando estuvimos en Coquí, un corregimiento de Nuquí, en el Departamento del Chocó en 2007.

En el neolítico este taladro se utilizó tanto para



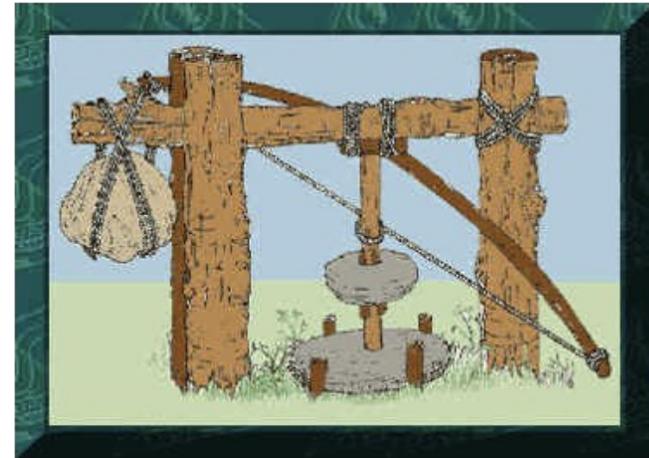
http://www.patrimonigava.cat/Uploads/imgpcn/docs/imatgesPremsa/Peces_arqueol%C3%B2giques/100_3951wm.jpg. Consultado el 2 de mayo 2010

producir fuego como para la carpintería con la producción de agujeros y el tallado de varas. En el taller de Coquí se trataba de un espacio para fabricar y reparar muebles.

La comprensión del funcionamiento de este artefacto planteada en términos de la Física Newtoniana requeriría de referencias al momento de inercia y la conservación el momento angular. Cuando fue inventado el artefacto es muy dudoso que sus inventores conocieran esta Física. La construcción y utilización del artefacto plantea entonces retos interesantes y, a la vez, una ocasión muy clara para sorprendernos y valorar lo que hacían y hacen hombres y sociedades que consideramos "primitivos".

El proceso se inicia con la cuerda enrollada en lo que podríamos llamar el árbol. Por la fuerza que hace el operario hacia abajo, se desenrolla la cuerda y el árbol, junto con el volante, giran. El volante (que puede ser una roca tallada de forma circular o un trozo pesado de madera) por su gran masa posee un gran momento de inercia que conduce a mantener su movimiento circular para lograr dos efectos (1) servir de taladro en cuanto puede superar las dificultades propias del taladrado y (2) enrollar la cuerda en el árbol, de tal suerte que al terminar esta secuencia nos encontramos con la cuerda enrollada en el árbol, en sentido contrario al original, pero dispuesta a iniciar el segundo proceso, que es idéntico al primero, a excepción del sentido en que girarán ahora el árbol y el instrumento de taladrado.

Otro caso particularmente interesante de cómo la



<http://inventoss.tripod.com/taladrodearco.htm>.
Consultado el 2 de mayo 2010.

tecnología antecede a la explicación científica es por ejemplo, la máquina de vapor que logró desarrollos importantes antes de la invención de los ciclos termodinámicos, en particular, del ciclo de Carnot.

PRIMERO LA CIENCIA, LUEGO LA TECNOLOGÍA

Pero el camino inverso es también usual y es tal vez mucho más frecuente en el mundo contemporáneo: cuando la tecnología surge como consecuencia de los logros que se dan en la actividad científica.

A nuestro juicio, ciencia y tecnología son caras de una misma moneda y tanto en los laboratorios de las empresas como en los laboratorios de las universidades y centros de investigación se dan simultáneamente desarrollos tecnológicos y explicaciones científicas, esto es la elaboración de teorías.

Para ilustrar esta relación veamos una colección de ejemplos que surgen de las técnicas de medición.

Para comenzar recordemos que casi siempre las mediciones son indirectas, en otras palabras, no se mide lo que se quiere medir, sino las consecuencias en otras variables, que acompañan las variaciones o cambios de la variable en cuestión (que se quiere medir)

Por ejemplo, para medir la temperatura, medimos la longitud de una columna de mercurio (en un aparato que se llama termómetro). Como la longi-

tud de la columna de mercurio, depende de la temperatura, pues existe una dilatación, una vez calibrado el instrumento y sabiendo cómo ha variado la longitud, sabremos la variación de la temperatura.

Para el caso de la temperatura hay otras opciones de medición, por ejemplo, la resistencia eléctrica de los materiales varía con la temperatura, en unos casos aumenta, en otros disminuye. Así, midiendo la corriente eléctrica que fluye a través de un determinado conductor, podemos saber a qué temperatura está, luego de haberlo calibrado.

Para saber la distancia que separa dos puntos distantes, podemos medir qué tanto tiempo tarda una señal en ir y volver. Si sabemos esto y la velocidad de propagación de la señal, podemos calibrar un instrumento para medir la distancia. Para profundizar un tanto en esto pueden consultarse las aplicaciones del radar y del sonar y, curiosamente en las formas de interacción con su entorno de los murciélagos y los delfines.

En todos los casos, es necesaria una calibración para determinar el valor de la variable. La calibración es la aplicación concreta de una teoría.

2. LA CINTA QUE MIDE DIÁMETROS

Los ingenieros forestales cuando tenían que determinar en los inventarios forestales el diámetro de un árbol, median la circunferencia (a la altura del pecho), con una cinta métrica y luego dividían ese número por p (que es, aproximadamente 3,14) pa-



ra obtener así el valor del diámetro. Existe, sin embargo, una manera más fácil de hacerlo, se trata de calibrar la cinta para que en vez de medir la longitud de la circunferencia mida el valor del diámetro.

La cinta que determina el diámetro ha incluido en su construcción un algoritmo, de tal suerte que allí donde la cinta marca L (la longitud de la circunferencia) escribimos L/π , que es el valor del diámetro.

Así como se calibra la cinta para que mida los diámetros podría calibrarse para que en vez de medir la circunferencia nos dé directamente el valor del área del círculo. correspondiente al punto en que se toma la medida.

¿Cómo se podría hacer esto?

3. LA MEDICIÓN DE LONGITUDES

Cuando se fabrica una rueda de un radio de 15,92 centímetros, la longitud de la circunferencia de esta rueda será de 1 metro. Ahora bien, si contamos las vueltas que da la rueda al recorrer una longitud desconocida, podemos determinar la distancia en metros que ha recorrido, y la podemos hacer más precisa si le introducimos fracciones y más elemental en su uso si le incorporamos un contador.

¿Cómo sería el asunto?



En ésta rueda hemos incorporado un algoritmo.
Por eso decimos que se trata de una máquina.

4. LA MÁQUINA DE MULTIPLICAR (Y DE DIVIDIR): La balanza.

Decir que $2 \times 3 = 1 \times 6$ (ver la Figura) no es ninguna novedad.

Pero asegurar, que en general, como se ilustra, $l_1 \times p = l_2 \times 1 = l_2$

es haber construido una máquina de multiplicar.
Tenemos así que si el peso de la derecha es 1, entonces su posición sobre el brazo derecho (l_2) será el resultado de multiplicar $l_1 \times p$.

Ahora bien como los equilibrios en la balanza se superponen, podemos utilizarla también para hacer promedios. Así, si en el brazo de la izquierda tenemos, por ejemplo, las edades en años de varias personas, digamos de 10 personas:

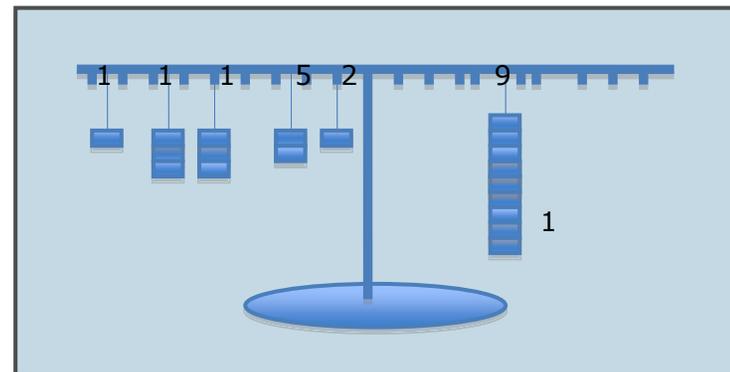
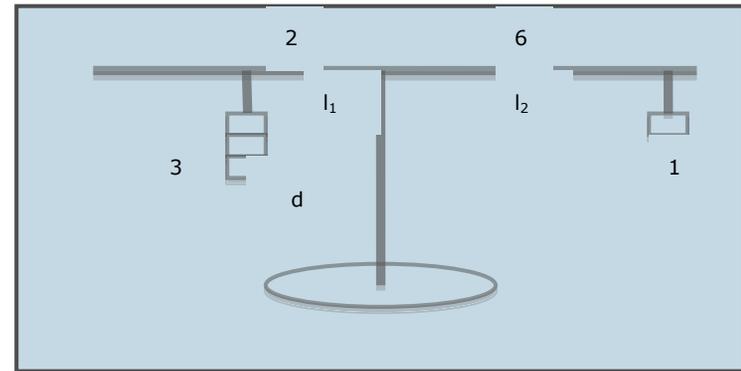
1 tiene 2

2 tienen 5

3 tienen 10

3 tienen 13

1 tiene 17



en la balanza tendremos

que es una manera de calcular los promedios.



LOS ROBOTS ELECTROMECÁNICOS

Los robots electromecánicos de la propuesta ATA epe, por el hecho de ser robots poseen varias características distintivas comunes. Por una parte, el control se logra mediante bucles de retroalimentación negativa, en un circuito de información con operaciones de recurrencia¹. Por otra, los sensores y efectores son dispositivos electromecánicos y mecánicos transparentes para un observador. Finalmente, la generación del movimiento, sus cambios y las transformaciones de energía poseen también elementos comunes. Es por esto que la comprensión del funcionamiento de los robots no solamente nos permitirá la explicación puntual de lo que sucede en cada uno de ellos, sino también la constitución de un elemento confiable con el cual es posible abocar la pregunta por los seres vivos, el aprendizaje, la autonomía y su determinación estructural.

Los capítulos que siguen están organizados para propiciar una aproximación comprensiva a la robótica (y la cibernética), tratando de sacar el máximo provecho de los robots electromecánicos, pero sin limitar la discusión a ellos. Es esta metodología la que caracteriza las ATAs: los problemas no terminan cuando se arman los prototipos; no, por el contrario, es allí precisamente cuando comienzan.

¹ Sobre esto volveremos muy pronto en este y los capítulos siguientes.

En el trabajo con las ACTIVIDADES TOTALIDAD ABIERTAS un problema, un proyecto o una pregunta generan múltiples actividades y nuevas preguntas que sin perder de vista la pregunta inicial se proyectan como elementos que mantienen las búsquedas y el interés.

Los bucles de causalidad

dades y epidemias.

Consideremos las situaciones siguientes.

1. ¿Qué sucedería si en una pradera eliminamos los coyotes que se comen a los conejos?.

Podríamos pensar que

a. La población de conejos crece y crece, con un único límite, la capacidad de la pradera en el suministro de alimento (hierba).

b. La población de conejos disminuye dramáticamente (hasta desaparecer) por las epidemias y enfermedades. Realmente los coyotes al comerse los conejos viejos, enfermos y débiles, están protegiendo a todo el grupo de conejos.

c. Como vemos, en este caso, la población de conejos está en peligro, ya sea por la carencia de alimento o por las enferme-

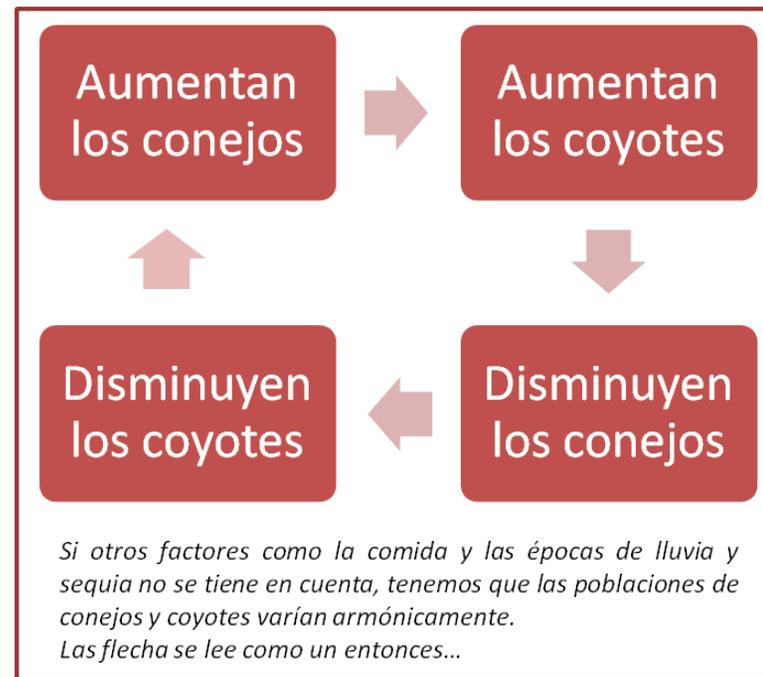
2. Cuando en el sistema que estamos estudiando (digamos, el sistema conejos – pradera) introducimos a los coyotes, tendremos otros elementos en interacción e interdependencia mutua:

a. La población de coyotes depende de la población de conejos.

b. La población de conejos depende de la población de coyotes, de la cantidad de alimento y otras variables como el tamaño de la pradera o de las lluvias.

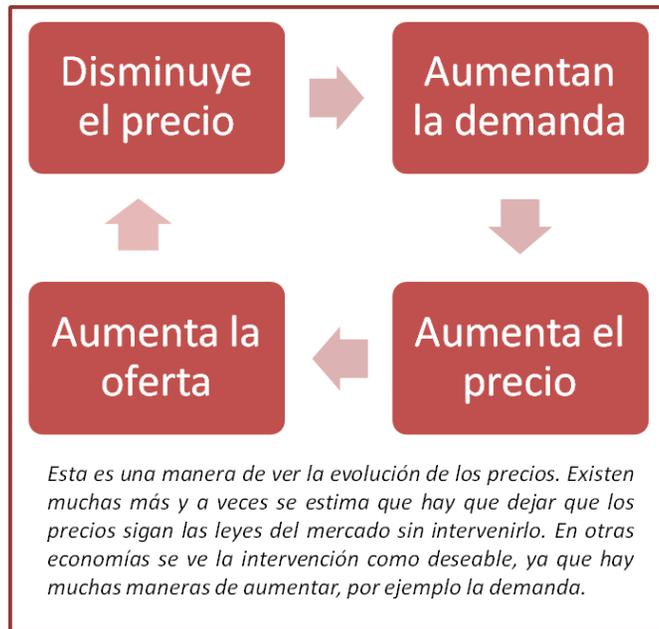
c. Cuando las circunstancias son de equilibrio, las poblaciones de conejos y de coyotes varían: un aumento los conejos conduce a un aumento de coyotes, que conduce a una disminución de conejos, que conduce a una disminución de coyotes, que

conduce a un aumento de conejos, que conduce a un aumento de coyotes y, así sucesivamente.



3. Y lo que tenemos es entonces un bucle en donde se puede comenzar el discurso en cualquier

parte y las causas se confunden con las consecuencias. Si las flechas se leen como un *entonces*, la situación puede ilustrarse como indica el diagrama.



Esta situación no es en absoluto extraña en el comportamiento de los equilibrios y los des – equilibrios tanto en los organismos vivos como en los ecosistemas y, aún, en el universo, incluyendo las sociedades. Cuando estamos en el ámbito de los organismos, al identificar estos bucles estamos estudiando *la homeostasis*.

En economía; por ejemplo, en el caso del mercado, una primera mirada de la evolución de los precios se puede lograr considerando la oferta y la

demanda y analizando cómo estos tres elementos se comportan como causas y a la vez como consecuencias.

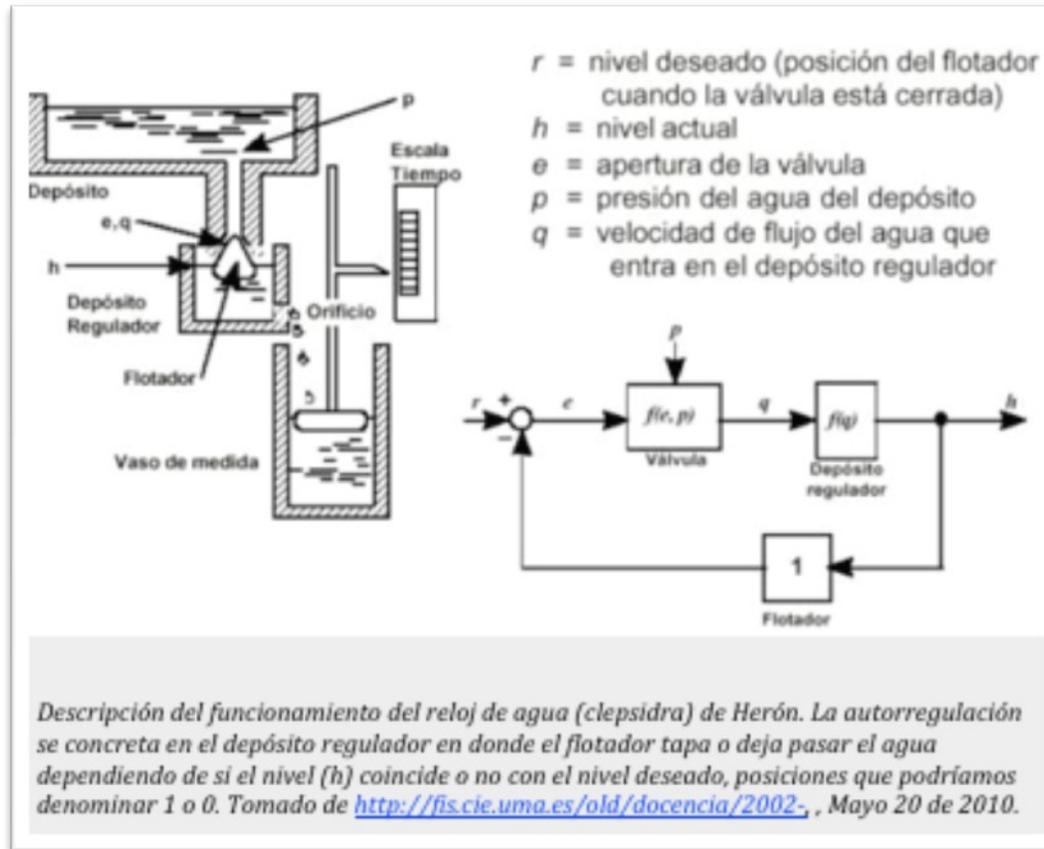
La retroalimentación negativa

Si observamos el diagrama anterior, que muestra las relaciones entre la población de conejos y la población de coyotes, podemos establecer que la variación de una variable está determinando la variación de esa misma variable en una dirección opuesta; esto es, si en un momento aumenta, tal aumento implica que luego disminuya. Y, correspondientemente, si en un momento disminuye, tal disminución hace que luego aumente. Esto sucede también en el caso de los precios para el estudio de la oferta y la demanda.

La situación es muy frecuente en muchos fenómenos y como veremos, es un elemento clave para comprender *el control* por retroalimentación. Notemos que la población de conejos en aislamiento crece exponencialmente, aún teniendo en cuenta el coeficiente de mortalidad; sin embargo, con la presencia de los coyotes se establece *un sistema autorregulado*. La observación y estudio de estos mecanismos que existen en el planeta y que “se disparan” para compensar cualquier alteración, llevó a J. Lovelock a plantear su hipótesis Gaia, en la que se estudia el medio ambiente y el impacto de la contaminación considerando que la Tierra es un organismo vivo.

La existencia de los bucles de causalidad, de la retroalimentación negativa y de la autorregulación,

que se observa en fenómenos naturales y que nos permiten comprender en parte el comportamiento de los mercados, se puede utilizar en los dispositivos y artefactos como una manera de lograr el control, que es uno de los sueños que han existido siempre en los laboratorios y talleres. Algunos dispositivos de control se conocen desde hace mucho tiempo, al menos desde Herón de Alejandría; fueron utilizados exitosamente por James Watt y definitivamente Clark Maxwell los proyectó al iniciar su matemización (que logró un nivel importante con los trabajos de N. Wiener, uno de los inventores de la cibernética).

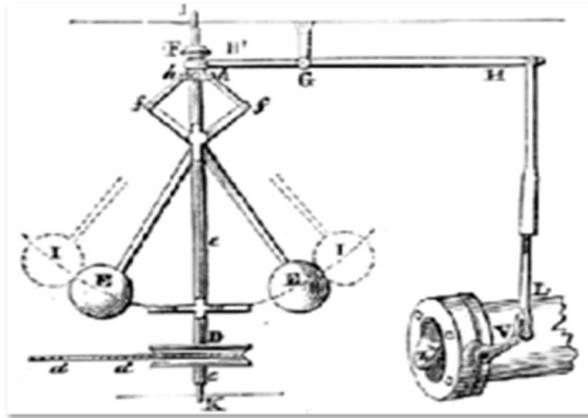


nivel r .

En el regulador de Watt (Ver Figura) las bolas E junto con el árbol D giran de acuerdo con la manera como marcha la máquina. Si va demasiado rápido, las bolas van más arriba de tal suerte que obstruyen, para una velocidad máxima, el paso de combustible localizado en V, entonces la máquina reduce su movimiento y las bolas bajan y, cuando las bolas bajan, se restituye el paso de combustible, la velocidad de giro del árbol aumenta y las bolas suben y obstruyen el paso de combustible, y ... así sucesivamente.

En la clepsidra de Herón (ver Figura), el reloj marcha uniformemente si a su vez el flujo de agua fluye uniformemente, para ello el nivel de agua en el depósito regulador debe mantenerse en el mismo

Nótese cómo el funcionamiento del regulador es muy semejante a lo que sucede en el caso de los conejos y los coyotes (ver Figura).



Otros casos usuales en los que se presentan estos bucles y que se utilizan como introducción son el funcionamiento del termostato que mantiene una habitación dentro de rangos deseables de temperatura o la simple cisterna de un baño, que mantiene mediante un control automático un nivel de agua deseable y disponible para cuando sea necesaria.

Los dos circuitos

Posiblemente el lector ya lo ha identificado, en estos aparatos existen dos flujos que podríamos denominar el flujo de energía y el flujo de información. Esto se puede visualizar mejor mediante la discusión acerca de cómo funciona un interruptor.

Cuando llevo la mano al interruptor y lo acciono cambiando la posición de abierto a cerrado se activa un motor o se enciende una lámpara. No es la mano la que hace encender la lámpara o mover al

motor. Lo que hace la mano es desencadenar una energía que estaba disponible y que posee un origen que no es el caso de considerar ahora. Lo que hace la mano es dar una señal lógica, pasar de un 0 a un 1, o de un NO a un SI.

En nuestro ejemplo, la señal obedece a la intencionalidad de encender la lámpara o de poner en funcionamiento al motor; en el caso del regulador de Watt, es la posición de las bolas la que hace que el suministro de combustible varíe. En el caso de la clepsidra es la posición del flotador lo que determina si debe entrar o no agua al recipiente regulador.

En la figura:

- SE:** señal de entrada.
- SS:** señal de salida.
- SENSOR:** flotador (clepsidra).
- CONTROL:** Válvula (clepsidra).
- EFECTOR:** Depósito regulador (clepsidra).

En los artefactos que estamos considerando, es el circuito de la información el que mantiene la autorregulación dando las ordenes pertinentes al circuito de energía en el que lo que pasa es muy elemental. Si se cierra el circuito entra agua al recipiente, o pasa combustible a la caldera, o se co-

necta el motor.

Es usual elaborar para el circuito de la información un diagrama como el de la figura en el que se pueden distinguir la siguientes partes, que para mayor comprensión pueden compararse con el esquema de la clepsidra.

Tenemos pues un dispositivo para comparar el nivel deseado con el nivel que existe: sensor (real). Dependiendo de tal comparación se actúa sobre un control que "ordena". Es el SI o es el NO.

Si se esta llenando, se detiene. Si va muy rápido, disminuye la rapidez. Si se mueve, se detiene e invierte la dirección, etc. Es una retroalimentación negativa.

ESQUEMA BÁSICO DE LA RETROALIMENTACIÓN Y DEL CONTROL POR RETROALIMENTACIÓN

Para comenzar consideremos, la siguiente situación.

1. Juan abre la llave para llenar un vaso de agua.
2. Mientras el vaso se llena, Juan observa (compara) el nivel del agua en el vaso y el nivel deseado.
3. Cuando los dos niveles coinciden, Juan cierra la llave.

Si **Juan – llave – agua - vaso – conductos** constituyen un sistema, el sistema es automático. El aumento del nivel en el vaso hace que en un momento (cuando los niveles coinciden) se decida interrumpir el aumento del nivel (esto es, el flujo de agua). La salida (aumento de nivel) actúa como señal de entrada (cuando el nivel real se compara con el nivel deseado) dando una orden contraria (retroalimentación negativa) y el sistema es auto-controlado.

Si Juan no pertenece al sistema, el procedimiento anterior no es automático. Hay un agente externo que lo controla.

Pero, si de alguna manera reemplazamos a Juan por un artefacto, que, perteneciendo al sistema, haga la misma función que él estaba haciendo, el sistema será autorregulado, esto es, nos encontramos ante un dispositivo que funciona sin necesidad de un agente externo que como Juan cierre la llave.

Un dispositivo común y clásico de este proceso se encuentra en la cisterna de los sanitarios; en la cual, cuando el nivel de agua llega a un valor predeterminado el flotador “informa” de la igualdad de los dos niveles (el del agua y el predeterminado) y cierra la entrada de agua. La cisterna es, pues, un sistema autorregulado.

El siguiente diagrama ilustra un sistema autorregulado por retroalimentación negativa.

Refiriéndonos al ejemplo anterior, mientras el nivel “real” sea menor al nivel predeterminado, el dispositivo de control mantiene el flujo de agua. El flujo de agua a la vez que se concreta como un aumento en la cantidad de agua, se manifiesta en un aumento del nivel.

Al aumentar el nivel de agua, la posición del flotador va variando. Cuando ha entrado suficiente cantidad de agua y el nivel del agua en la cisterna coincide con un cierto nivel predeterminado, esa

igualdad hace que el flotador cierre la entrada:

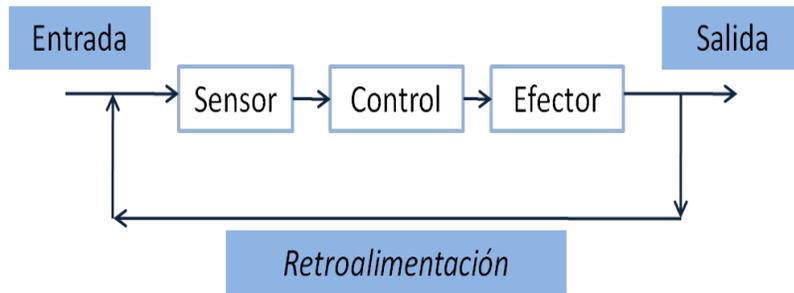


Diagrama que ilustra un sistema de control por retroalimentación, de malla cerrada

Sensor: percibe cuál es el nivel de agua en la cisterna.

Control: compara los dos niveles y ordena (a) que siga fluyendo el agua, ó (b) que deje de fluir el agua.

Efector: Fluye agua (llave abierta)/ No fluye agua (llave cerrada).

El **bucle de retroalimentación** consiste en convertir un dato de la salida (cantidad de agua en la cisterna) en una señal de entrada (nivel del agua) y efectivamente ordenar, luego de una comparación, que el flujo de agua continúe o se detenga.

En el caso que estamos estudiando la retroalimentación es negativa. Cuando la retroalimentación es positiva, los efectos del funcionamiento del sistema conducen a que el sistema continúe funcionando de la misma manera, cada vez con mayor in-

tensidad hasta que el sistema se destruye u opera en el ámbito del caos. En el caso del control, la retroalimentación es siempre negativa.

Esta introducción para explicar el equilibrio o el caos en los sistemas nos ayuda a comprender cómo es que los organismos vivos se mantienen en equilibrio a pesar de las condiciones a veces adversas del entorno o de los funcionamientos extremos debidos a la actividad de los organismos o a las enfermedades. El estudio de los "mecanismos" de control en los seres vivos se llama homeostasis.

Y el estudio de cómo crear artefactos que se mantengan funcionando dentro de unos rangos deseables, es la teoría del control, tales como los servomecanismos, sistemas de control por retroalimentación y en general, la cibernética (que significa, teoría del gobierno o del control).

Estos son algunos ejemplos de sistemas de control automático presentes en artefactos usados en la casa, en los autos o en el comercio:

En la casa,

La nevera.

El horno.

La plancha eléctrica.

El aire acondicionado.

En el automóvil

El control de temperatura en los motores de los carros.

En el comercio

Puertas que se abren cuando nos acercamos.

Para el caso del organismo, algunos ejemplos de homeostasis son:

El tamaño de la retina en función de la intensidad de la luz; en un gato, por ejemplo, este funcionamiento es muy claro.

En los seres humanos, la secreción de sudor en entornos cálidos o luego de haber hecho ejercicio.

La fiebre en el caso de las infecciones.

Los bucles de retroalimentación

Los bucles de retroalimentación como fundamento de los equilibrios y el control se utilizan hoy para explicar muchas cosas. Uno de los ejemplos más conocidos es el planteamiento de J. Lovelock de considerar el planeta Tierra como un organismo vivo, lo que se ha denominado la hipótesis GAIA, en la cual la Tierra posee capacidad para autorre-

gularse, de tal suerte que a pesar de los cambios dramáticos que se han vivido, mantiene las condiciones requeridas para garantizar la vida. En esta hipótesis, sin embargo, se reconoce que tal capacidad de autorregulación posee ciertos límites y se llama la atención debido a que nos estamos aproximando ellos, lo que pondría en duda la existencia del planeta. Para Lovelock, el factor de perturbación más importante es la pobreza.

Pero no solamente en el caso de los organismos es posible explicar lo que sucede mediante los bucles de retroalimentación, también son muy útiles en el caso de fenómenos que incluyen comunidades, como es el caso del crecimiento de poblaciones y las condiciones de equilibrio o como sucede con el crecimiento de las ciudades, con la desintegración radioactiva y con muchos problemas en donde el fenómeno se da en el tiempo con operaciones que se repiten reiteradamente como el enfriamiento de un vaso de agua (casos de recurrencia).

El caso de cómo se llega al caos (o a la destrucción) cuando la retroalimentación es positiva puede verse en los ejemplos siguientes.

En una discusión entre dos personas, las palabras pueden aumentar de tono hasta llegar a las injurias, de tal suerte que a una injuria puede seguir otra injuria cada vez mayor, la magnitud de las injurias puede llegar a tal punto, que quienes discuten llegan a las manos.

Al aumentar la corriente eléctrica que fluye por una resistencia aumenta la temperatura de la re-

sistencia. Al aumentar la temperatura de la resistencia, la resistencia disminuye y la corriente eléctrica se hace mayor. Y, el bucle se repite: al aumentar la corriente eléctrica la temperatura aumenta aún más hasta tal punto que la temperatura destruye el sistema.

CÓMO FLUYE LA INFORMACIÓN EN LOS SISTEMAS AUTORREGULADOS POR RETROALIMENTACIÓN NEGATIVA

En los artefactos autorregulados tenemos que identificar dos circuitos distintos, que tienen que ver con aspectos diferentes del funcionamiento del artefacto. Por una parte tenemos una secuencia de parejas

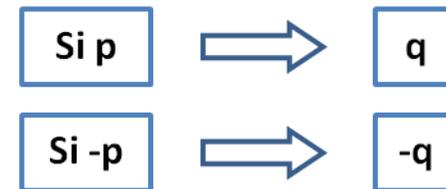


Que se comportan de manera determinista como en la física clásica:

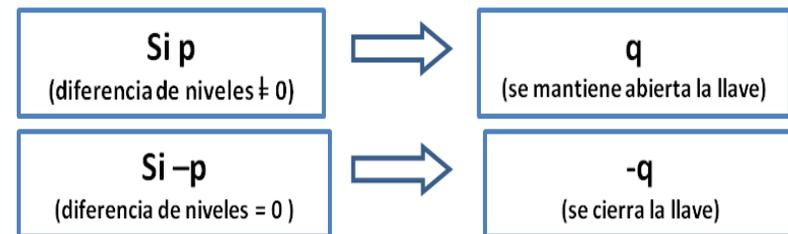
LLAVE ABIERTA	⇒	SALE AGUA
LLAVE CERRADA	⇒	NO FLUYE AGUA
INTERRUPTOR ABIERTO	⇒	MOTOR EN REPOSO
INTERRUPTOR CERRADO	⇒	MOTOR FUNCIONANDO

Etc.

Por otra parte nos encontramos con secuencias lógicas del tipo:



Que en el caso de la llave que llena un vaso de agua, mencionada al comienzo, se concretan en:



En este caso la respuesta lógica es discontinua y la podríamos describir como un

q
 O un
 no q
 O un
 1
 Y un
 0.

Se trata de una respuesta digital, con solo dos valores posibles "abierto", "cerrado", o 1 y 0.

En otras oportunidades la respuesta es continua y a un aumento de algo corresponde un aumento (o disminución) de otra cosa cuya variación se mantiene dentro de ciertos límites de tolerancia. Tal es el caso del termostato en una nevera o, incluso, del flujo de agua en la cisterna.

Estas proposiciones (p y q), corresponden a puntos distantes en el artefacto que se estudia. Mientras p es el resultado de la comparación entre una magnitud en la salida con una magnitud predeterminada, q es una orden a una magnitud de la entrada. La salida determina lo que sucede con la entrada. Estamos ante la retroalimentación. Y cuando estamos ante la retroalimentación se rompen las cadenas de causalidad causa-efecto usuales (lineales). Es así como la salida determina lo que sucede con la entrada y la entrada determina lo que sucede en la salida. En estos bucles de causalidad desaparece el determinismo.

Elementos de los artefactos autorregulados

Para comprender los artefactos autorregulados: ascensores, robots móviles, brazos mecánicos antropomórficos, etc..., debemos considerar tres aspectos: La estructura de los artefactos, la manera como los artefactos interactúan con el medio ambiente (sensores y actuadores) y el manejo y transformaciones de la información en el artefacto mismo.

La estructura

Una estructura está compuesta por una serie de piezas o elementos interconectados. Además del número de piezas que se requiere para la elaboración o armado de un artefacto también son un indicativo de la complejidad de la estructura la forma como las piezas se articulan para que el artefacto funcione y, aún, el funcionamiento mismo. Dentro de la estructura tenemos aspectos como los siguientes:

Soporte de sistemas de movimiento y de control.

Transmisiones de movimiento

Transformaciones de movimiento.

El transporte o levantamiento de partes del artefacto.

Interacción con el entorno

El control es un aspecto definitivo cuando un artefacto interactúa con el medio. Miremos la inspiración que el hombre tiene en la naturaleza para buscar esta "conducta" en las máquinas que construye. Muchas actividades de los organismos vivos requieren control para mantener la vida en un medio, citemos la acción de caminar, en la cual intervienen los ojos, el cerebro y las piernas. La información de las circunstancias de la trayectoria se percibe por los ojos – **sensores**– los cuales es-

tablecen la diferencia entre la dirección en que se desea caminar (entrada), y la dirección por la cual se puede caminar (salida), ésta información va al cerebro que "ordena" a las piernas la trayectoria segura para caminar (los correctivos necesarios).

Los sensores son de diferentes tipos: mecánicos, ópticos, acústicos, térmicos, magnéticos, etc.

Actuadores varios: motores

Manejo de la información

El manejo de la información es definitivo en la integralidad de un sistema artificial o natural. La toma de la información es el primer paso, luego viene el procesamiento de ésta, de la cual depende la existencia del organismo o artefacto que se controla. Pensemos por un momento en el tratamiento de la información presente en un brazo robot que recoge un objeto para luego depositarlo en otro lugar que se requiere, los elementos de éste sistema son los sensores, el brazo junto con el manipulador y el control que ordena al brazo y al manipulador para actuar sobre el objeto. Los sensores de manera continua informan sobre la posición del brazo y del manipulador al centro de control, que transmite una información a los actuadores (motores) que mueven el conjunto brazo-manipulador hacia la posición del objeto.

La manera como se transmite la información (hay entradas y salidas,

(mecánicos, magnéticos, eléctricos, etc.) y formas que adquiere la información (digital -vs analógica), códigos y formas como se ingresa al sistema, etc.

El manejo de la información se puede ser:

- ☞ Control manual
- ☞ Mediante interruptores.
- ☞ Control automático
- ☞ Mediante relés
- ☞ Con computadores.
- ☞ Con micro-controladores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Bateson, G. (1972). *Pasos hacia una ecología de la mente*. Buenos Aires: Lumen.

Díaz B. Frida (2003) Cognición situada y estrategias para el aprendizaje significativo. En *Revista Electrónica de Investigación Educativa Vol. 5, No. 2*, 2003. México.

Maturana, H. y Varela, F. (1998) *El árbol del conocimiento*. Santiago de Chile:Universitaria.

Lovelok, J. 1986. *Gaia, una nueva visión de la vida sobre la Tierra*. Barcelona:Orbis.

Segura, D. (2002) La enseñanza de las ciencias en Colombia, en *Innovación y Ciencia Vol X, Nos 3 y 4*, pp 26, 33. Bogotá:ACAC.

----- (2002) Información y conocimiento, una diferencia enriquecedora. En *Museolúdica. Bogotá: Museo de la Ciencia y el Juego No 9 (22,34)*, U. Nacional.

----- y otros (2005). El constructivismo radical como alternativa para fundamentar prácticas con sentido en la enseñanza de las ciencias. En *Itinerantes No 3. Pp. 59 a 72*. Payán:Redecolombia.

----- (2006). Los modelos en la ciencia, las metáforas y la recurrencia. En *Ciencias, racionalidades y medio ambiente* (ps 41, 50). Bogotá:Ed. Pontificia Universidad Javeriana.

----- (2006) Las Urgencias de la innovación. Documento presentado en Costa Rica en el evento *10º Congreso Nacional de Ciencias y Estudios Sociales*, Sede Brunca, Pérez Zeledón, Agosto de 2008

Varela, F. (1996). *Ética y acción*. Santiago de Chile:Dolmen.

Villaveces, J.L., (2002). Cultura científica. Factor de supervivencia nacional. En *Innovación y ciencia. Vol X, No 3 y 4* Bogotá: ACAC.

Von Foerster Heinz (1998) *Las semillas de la cibernética*. Gedisa, Barcelona.

EN LA RED

http://www.patrimonigava.cat/Uploads/imgpcn/docs/imatgesPremsa/Peces_arqueol%C3%B2giques/100_3951wm.jpg. Consultado el 2 de mayo 2010

<http://inventoss.tripod.com/taladrodearco.htm>. Consultado el 2 de mayo 2010.